甜菜碱和*L*-肉碱对蒙寒杂交羊生长性能、屠宰性能、器官发育及脂肪沉积的影响

杨　东[1,2,3]　王文义[3]　马　涛[1]　万　凡[1]　王韵斐[3]　谭　军[2]　张　娟[3]　刁其玉[1*]

(1.中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点实验室，北京　100081；2.内蒙古河套农业技术研究院，巴彦淖尔　015000；3.巴彦淖尔市农牧业科学研究院，巴彦淖尔　015000）

摘　要：本研究旨在研究甜菜碱和*L*-肉碱对蒙寒杂交羊生长性能、屠宰性能、器官发育及脂肪沉积的影响。试验采用单因素试验设计，选取体重为（29.0±0.4） kg 的蒙寒杂交羊 270 只，随机分为 3 组，每组 3 个重复，每个重复 30 只羊。对照组（CON 组）饲喂基础饲粮，甜菜碱组（BN 组）和 *L*-肉碱组（*L*-CN 组）分别在基础饲粮中添加 1‰甜菜碱和 0.4‰ *L*-肉碱。预试期 15 d，正试期 40 d。结果表明：1）*L*-CN 组平均日采食量显著低于 CON 组和 BN 组（$P<0.05$），各组之间其他生长性能指标均无显著性差异（$P>0.05$）。2）各组之间宰前活重、胴体重、屠宰率、眼积面积以及胴体脂肪含量值均无显著性差异（$P>0.05$）。3）各组之间内脏器官发育指标均无显著性差异（$P>0.05$）。4）*L*-CN 组大肠重量及其所占宰前活重比例显著低于 CON 组（$P<0.05$），各组之间其余胃肠道发育指标均无显著性差异（$P>0.05$）。5）BN 组和 *L*-CN 组总脂肪重量及其占宰前活重比例均显著低于 CON 组（$P<0.05$），*L*-CN 组总脂肪重量及其占宰前活重比例显著高于 BN 组（$P<0.05$）；CON 组尾部脂肪重量及其占宰前活重比例显著高于 BN 组（$P<0.05$）；各组之间瘤胃脂肪、肠脂肪、心周脂肪、肾周脂肪重量及其占宰前活重比例均无显著差异（$P>0.05$）。由此可见，饲粮添加甜菜碱和 *L*-肉碱均降低了蒙寒杂交羊的脂肪沉积量，而且主要降低了尾部脂肪的重量，提示我们甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊降低体脂有一定的作用。

关键词：蒙寒杂交羊；甜菜碱；*L*-肉碱；生长性能；屠宰性能；脂肪沉积

中图分类号：S826

近些年，随着生活水平提高，人们对肉产品的品质也越来越重视。但是，我国目前的肉羊养殖模式以舍饲为主，该模式下为了达到快速增重的目的，在饲料选择上往往会大量使用

收稿日期：2018-05-17

基金项目：内蒙古自治区科技重大专项“巴美肉羊产业化技术研究集成应用”；国家肉羊产业技术体系建设专项资金（CARS-38）

作者简介：杨　东（1984—），男，内蒙古巴彦淖尔人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: yd276274264@163.com

*通信作者：刁其玉，研究员，博士生导师，E-mail: diaoqiyu@caas.cn

精料，加之舍饲羊较放牧羊运动量更少，这就导致舍饲羊出栏时脂肪沉积过多，肉品质下降，而且肉产品中过多的脂肪会使人们罹患糖尿病、心脑血管等疾病的风险升高。因此，探索营养添加剂改善舍饲羊脂肪过度沉积进而改善肉品质成为目前的研究热点。

目前，一些绿色、安全的功能性添加剂在畜禽生产上的应用比较多，其不但可以促进动物生长而且对增肉降脂有明显作用[1-3]。甜菜碱化学名是三甲基甘氨酸，属于季胺碱类物质，是一种有三甲基结构的多功能营养型饲料添加剂。在畜牧生产中，具有维持维生素效价、缓解应激、促进动物生长发育以及改善肉品质等作用[4-6]。Virtanen 等[7]研究认为，由于甜菜碱是一种有效的甲基供体，所以其在调节脂肪代谢方面具有优势。甜菜碱对脂肪调节可能在于其能够增加外围组织脂肪分解或降低脂肪合成[8]。边连全等[9]在杜×长×大三元杂交育肥猪饲粮中添加甜菜碱和 *L*-肉碱可使育肥猪平均背膘厚度下降、眼肌面积增加。肉碱属于维生素类营养物质，无毒、无害，它在自然界中的存在形式有 *L* 型和 *D* 型，*L*-肉碱广泛存在于动植物组织中且具有生理意义，故一般所讲的肉碱是指 *L* 型。*L*-肉碱的化学结构类似于胆碱，生理特性接近氨基酸。它是长链脂肪酸进行β-氧化的必需载体，具有促进脂肪酸β-氧化的作用[10]，而且 *L*-肉碱在氨基酸代谢过程中起重要作用，可促进蛋白质沉积[11]。*L*-肉碱还可以促进脂溶性维生素及钙、磷吸收；促进 ATP 运输到线粒体内膜；促进动物消化液的分泌，增强消化与吸收功能，提高氨基酸的利用率；改善动物机体的新陈代谢，促进动物生长，增强动物抗病能力等作用[12-14]。根据前人研究，上述 2 种添加剂在其他动物上可以改善生长性能和脂肪代谢，但是其对肉羊生长性能尤其是脂肪沉积的影响还鲜有报道。因此，本试验选择甜菜碱和 *L*-肉碱作为添加剂，研究甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊生长性能、屠宰性能、器官发育及脂肪沉积的影响，旨在降低肉羊脂肪沉积，为其进一步在生产上使用提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验时间与地点

试验在内蒙古河套农牧业技术研究院科研基地开展，时间为 2015 年 10 月至 2015 年 12 月，共 55 d，其中预试期 15 d，正试期 40 d。

1.2　试验材料

甜菜碱：纯度为 98%的无水甜菜碱，试验添加量为 1‰（干物质基础），全程添加。

L-肉碱：产品名为康力旺，有效成分（*L*-肉碱）含量为 50%，试验添加量为 0.4‰（干物质基础），全程添加。

1.3　试验设计

试验采用单因素随机分组设计，选用体重为（29.0±0.4） kg、75 日龄的蒙寒杂交羊 270 只，按照平均体重相近的原则分成 3 组，每组 3 个重复，每个重复 30 只羊。对照组（CON 组）饲喂基础饲粮，甜菜碱组（BN 组）和 *L*-肉碱组（*L*-CN 组）分别在基础饲粮中添加 1‰ 甜菜碱和 0.4‰ *L*-肉碱。基础饲粮依据 30～40 kg 阶段肉用杂交羊的营养需要量配制饲粮。试验饲粮自行配制，精料制成颗粒料，粗料使用全混合日粮（TMR）搅拌机搅拌混合，预混料由北京精准动物营养研究中心提供。基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)　　　%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels[2)]	含量 Content
玉米 Corn	29.40	代谢能 ME/(MJ/kg)	7.88
豆粕 Soybean meal	5.10	干物质 DM	90.89
油渣 Greaves	7.80	粗蛋白质 CP	10.60
麸皮 Wheat bran	2.00	粗脂肪 EE	3.09
玉米胚芽 Corn germ	5.20	粗灰分 Ash	6.86
青贮 Silage	10.70	中性洗涤纤维 NDF	56.73
羊草 Chinese wild rye	36.60	酸性洗涤纤维 ADF	24.04
食盐 NaCl	0.50	钙 Ca	0.82
石粉 Limestone	1.00	磷 P	0.48
碳酸氢钙 $CaHPO_4$	0.60		
预混料 Premix[1)]	1.10		
合计 Total	100.00		

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet：VA 15 000 IU，VD 2 200 IU，VE 50 IU，Fe 56 mg，Cu 12.5 mg，Mn 47 mg，Zn 24 mg，Se 0.5 mg，I 0.5 mg，Co 0.1 mg。

[2)]代谢能（代谢能=总能×0.47[15-16]）为计算值，其他均为实测值。ME (ME=GE×0.47[15-16]) was a calculated value, while the others were measured values.

1.4　饲养管理

试验按照 1 个重复 1 个圈舍单独饲养，圈舍每间隔 15 d 消毒 1 次。试验预试期 15 d，对所有羊编号、防疫及驱虫。正试期 40 d，每天 05:00 和 16:00 准时喂料，先饲喂精料，再按照精粗比为 52.5：47.5（风干物质比例）的比例饲喂搅拌好的粗料。自由饮水，及时治疗疾病；羊舍保持卫生干净，每天及时清扫。试验开始、结束及每 15 d 空腹称重，并记录体重。正试期开始后，每 3 d 收集 1 次剩料，按照剩料占饲喂量 10%的原则调整饲喂量。试验第 55 天，根据各组平均体重每组选取 5 只羊进行屠宰，测定其屠宰性能、器官发育和各部位脂肪沉积等指标。

1.5　测定指标和方法

1.5.1　生长性能

正试期第 1 天体重为初始体重（initial body weight，IBW），第 40 天体重为终末体重(final body weight,FBW)，期间每 15 d 称重 1 次，记录每次称重数据；每天记录各组试验羊的饲喂量，每 3 d 收集并记录剩料量。通过上述数据计算平均日增重（average daily gain,ADG）、平均日采食量（average daily feed intake,ADFI）以及饲料转化率（feed conversion ratio,FCR）。

平均日采食量=（饲喂量-剩料量）/饲喂天数。

平均日增重=（终末体重-初始体重）/饲喂天数。

饲料转化率=平均日采食量/平均日增重。

1.5.2　屠宰性能、器官指数和脂肪沉积的测定

试验第 55 天时，将同组的试验羊进行混群，然后从每组选取健康、接近平均体重的 5 只羊，共 15 只羊进行屠宰，当日 16:00 称重，禁食、禁水 16 h，次日 07:00 屠宰前再称重。试验羊致晕后，颈静脉放血屠宰。

屠宰前逐只称取所有试验羊宰前活重。去头、蹄、内脏，剥皮后称出胴体重、内脏各器官重量以及各部位脂肪重量。消化道清除内容物并冲洗干净后，分别称量瘤胃、网胃、瓣胃、皱胃、小肠、大肠重量，进行记录。

主要指标测定方法及计算公式如下：

胴体重（kg）：羊只屠宰放血后去皮、头(由环椎处分割)、管骨及管骨以下部分和内脏(保留肾脏及肾区脂肪)的质量。

眼肌面积：测量倒数第 1 与第 2 根肋骨之间脊椎上眼肌（背最长肌）的横切面，用硫酸纸绘出眼肌横切面的轮廓，采用公式计算：

眼肌面积（cm^2）=高×宽×0.7。

胴体脂肪含量值(GR 值)：在第 12 和 13 肋骨之间，用游标卡尺测量距背脊中线 11 cm 处的组织厚度，是胴体脂肪含量的标志。

屠宰率（%）=(胴体重/宰前活重)×100。

1.6　数据处理分析

试验数据采用 Excel 2007 进行整理，采用 SPSS 18.1 统计软件的 ANOVA 过程进行单因素方差分析（one-way ANOVA），差异显著则用 Duncan 氏多重比较法检验。P<0.05 作为差异显著的判断标准。

2　结果与分析

2.1　甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊生长性能的影响

由表 2 可知，*L*-CN 组的平均日采食量显著低于 CON 组和 BN 组（P<0.05），BN 组的平均日采食量与 CON 组无显著性差异（P>0.05）。*L*-CN 组和 BN 组的平均日增重均略低于 CON 组，但无显著性差异（P>0.05）。CON 组的饲料转化率低于 *L*-CN 组和 BN 组，但无显著性差异（P>0.05）。这表明饲粮添加甜菜碱和 *L*-肉碱对羊只的增重性能和饲料转化率的影响不显著，但是饲粮添加 *L*-肉碱可显著降低羊只的平均日采食量。

表 2　甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊生长性能的影响

Table 2　Effects of betaine and *L*-carnitine on growth performance of Mongolian hybrid sheep (n=90)

项目	组别 Groups			SEM	*P* 值
Items	CON	BN	*L*-CN		*P*-value
初始体重 IBW/kg	28.89	28.72	28.50	0.28	0.43
终末体重 FBW/kg	36.68	35.76	35.83	0.67	0.37
平均日增重 ADG/(g/d)	199.8	180.5	187.9	15.5	0.50
平均日采食量 ADFI(kg/d)	1.52^{a}	1.50^{a}	1.47^{b}	0.01	0.02
饲料转化率 FCR	7.59	8.34	7.97	0.66	0.56

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2　甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊屠宰性能的影响

由表 3 可知，各组之间的宰前活重、胴体重、屠宰率、眼积面积以及 GR 值均无显著性

差异（*P*>0.05）；但是 3 组中，CON 组的眼积面积最小，GR 值则最大。

表 3　甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊屠宰性能的影响

Table 3　Effects of betaine and *L*-carnitine on slaughter performance of Mongolian hybrid sheep (*n*=5)

项目 Items	组别 Groups CON	BN	*L*-CN	SEM	*P* 值 *P*-value
宰前活重 Live weight before slaughter/kg	36.78	35.82	35.84	0.51	0.14
胴体重 Carcass weight/kg	15.92	15.20	15.62	0.42	0.27
屠宰率 Dressing percentage/%	43.28	42.44	43.58	0.01	0.52
眼肌面积 Eye muscle area/cm^2	12.28	13.73	12.66	1.46	0.60
胴体脂肪含量值 GR value/mm	2.77	1.99	2.75	0.53	0.28

2.3　甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊内脏器官发育的影响

由表 4 可知，*L*-CN 组心脏重量大于 CON 组，其余内脏器官重量都是 BN 组和 *L*-CN 组小于 CON 组，而且 3 组之间的内脏器官重量没有显著性差异（*P*>0.05）；从内脏器官重量占宰前活重比例来看，CON 组、BN 组以及 *L*-CN 组之间均无显著性差异（*P*>0.05）。这说明饲粮添加甜菜碱和 *L*-肉碱对羊只的内脏器官发育没有显著影响。

表 4　甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊内脏器官发育的影响

Table 4　Effects of betaine and *L*-carnitine on internal organ development of Mongolian hybrid sheep (*n*=5)

项目 Items		组别 Groups CON	BN	*L*-CN	SEM	*P* 值 *P*-value
心脏 Heart	重量 Weight/g	141.0	134.0	144.0	5.51	0.22
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	0.38	0.37	0.40	0.01	0.16
肝脏 Liver	重量 Weight/g	604.0	577.0	567.0	28.12	0.42
	占宰前活重比例	1.64	1.61	1.58	0.09	0.79

	Percentage of LWBS/%					
肺脏 Lungs	重量 Weight/g	370.0	352.0	344.0	23.49	0.54
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	1.01	0.98	0.96	0.07	0.79
肾脏 Kidneys	重量 Weight/g	100.0	93.0	87.0	6.08	0.14
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	0.27	0.26	0.24	0.02	0.27
脾脏 Spleen	重量 Weight/g	94.80	90.00	90.60	19.56	0.97
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	0.26	0.25	0.25	0.05	0.99

2.4 甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊胃肠道发育的影响

由表 5 可知，CON 组大肠重量以及大肠重量占宰前活重比例显著高于 *L*-CN 组（$P<0.05$），BN 组与其他 2 组则无显著性差异（$P>0.05$）；CON 组瘤胃、网胃、瓣胃、皱胃和复胃重量高于 BN 组和 *L*-CN 组，但是各组之间各胃室的重量均无显著性差异（$P>0.05$）；各组之间瘤胃、网胃、瓣胃、皱胃重量占复胃总重比例和占宰前活重比例均无显著性差异（$P>0.05$），复胃重量和复胃重量占宰前活重比例也无显著性差异（$P>0.05$）；各组之间小肠重量及小肠重量占宰前活重比例无显著性差异（$P>0.05$）。以上结果表明，饲粮添加甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊胃和小肠的发育无显著影响，但是饲粮添加 *L*-肉碱对大肠发育可能有抑制的作用。

表 5 甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊胃肠道发育的影响

Table 5 Effects of betaine and *L*-carnitine on stomach and intestine development of Mongolian hybrid sheep (n=5)

项目 Items		组别 Groups CON	BN	*L*-CN	SEM	*P* 值 *P*-value
瘤胃 Rumen	重量 Weight/g	728.0	708.0	697.0	34.27	0.666
	占复胃总重比例 Percentage of TCSW/%	67.73	69.20	69.17	1.48	0.544
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	1.98	1.98	1.94	0.10	0.930

网胃 Reticulum	重量 Weight/g	113.0	112.0	118.0	7.62	0.707
	占复胃总重比例 Percentage of TCSW/%	10.57	10.95	11.69	0.65	0.251
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	0.31	0.31	0.33	0.02	0.585
瓣胃 Omasum	重量 Weight/g	108.0	95.0	96.0	9.03	0.313
	占复胃总重比例 Percentage of TCSW/%	10.10	9.39	9.52	1.04	0.767
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	0.29	0.27	0.27	0.02	0.474
皱胃 Abomasum	重量 Weight/g	125	107	97	13.43	0.150
	占复胃总重比例 Percentage of TCSW/%	11.60	10.47	9.62	1.17	0.275
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	0.34	0.30	0.27	0.04	0.246
复胃 Whole stomach	重量 Weight/g	1 074.0	1 022.0	1 008.0	38.27	0.232
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	2.92	2.86	2.81	0.12	0.690
小肠 Small intestine	重量 Weight/g	640.0	664.0	601.0	64.70	0.628
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	1.74	1.86	1.68	0.18	0.620
大肠 Large intestine	重量 Weight/g	615.0^{a}	533.0^{ab}	501.0^{b}	37.71	0.028
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	1.67^{a}	1.49^{ab}	1.40^{b}	0.10	0.040

2.5　甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊脂肪沉积的影响

由表 6 可知，3 个组的尾部脂肪重量顺序为 CON 组>*L*-CN 组>BN 组，其中 CON 组显著高于 BN 组（P<0.05），尾部脂肪重量占宰前活重比例也是 CON 组显著高于 BN 组（P<0.05）。CON 组总脂肪重量显著高于 BN 组和 *L*-CN 组（P<0.05），*L*-CN 组总脂肪重量显著高于 BN 组（P<0.05）；总脂肪重量占宰前活重比例为：CON 组>*L*-CN 组>BN 组，且 CON 组显著

高于 BN 组和 *L*-CN 组（$P<0.05$），*L*-CN 组显著高于 BN 组（$P<0.05$）。各组之间的肠脂肪、瘤胃脂肪、心周脂肪、肾周脂肪重量无显著差异（$P>0.05$），这 4 个部位占脂肪总重比例以及占宰前活重比例也无显著性差异（$P>0.05$），但是可以看出，CON 组中除了肾周脂肪重量略低于 BN 组和 *L*-CN 组外，其余 3 个部位脂肪重量均高于 BN 组和 *L*-CN 组。以上结果说明，饲粮添加甜菜碱和 *L*-肉碱都有降低脂肪沉积的作用，其中甜菜碱的减脂效果更加明显。

表 6　甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊脂肪沉积的影响

Table 6　Effects of betaine and *L*-carnitine on fat deposition of Mongolian hybrid sheep (*n*=5)

项目 Items		组别 Groups CON	BN	*L*-CN	SEM	*P* 值 *P*-value
肠脂肪 Intestinal fat	重量 Weight/g	303	238	296	48.97	0.376
	占脂肪总重比例 Percentage of total fat weight/%	11.91	15.54	15.07	3.24	0.496
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	0.82	0.67	0.83	0.14	0.450
瘤胃脂肪 Rumen fat	重量 Weight/g	447.4	332.8	335.0	64.15	0.167
	占脂肪总重比例 Percentage of total fat weight/%	17.64	21.75	17.24	3.48	0.387
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	1.22	0.93	0.94	0.18	0.224
心周脂肪 Pericardial fat	重量 Weight/g	63	58	53	7.72	0.456
	占脂肪总重比例 Percentage of total fat weight/%	2.46	3.87	2.72	0.56	0.060
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	0.17	0.16	0.15	0.02	0.602
肾周脂肪 Perirenal fat	重量 Weight/g	284	287	285	91.62	0.999

	占脂肪总重比例 Percentage of total fat weight/%	11.25	18.92	14.73	5.30	0.379
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	0.77	0.80	0.80	0.26	0.991
尾部脂肪 Tail fat	重量 Weight/g	1 462[a]	654[b]	1 012[ab]	225.53	0.013
	占脂肪总重比例 Percentage of total fat weight/%	56.74	39.90	50.23	8.82	0.200
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	3.98[a]	1.81[b]	2.81[ab]	0.62	0.014
总脂肪 Total fat	重量 Weight/g	2 559.4[a]	1 569.8[c]	1 981.0[b]	174.11	0.001
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%	6.97[a]	4.38[c]	5.52[b]	0.48	0.001

3 讨 论

3.1 甜菜碱和*L*-肉碱对蒙寒杂交羊生长性能的影响

本试验选择的甜菜碱和*L*-肉碱属于生物碱，它们参与体内营养物质代谢，具有提高动物生长性能[17]、改善脂肪在体内代谢等功能，属新型的营养再分配剂[18]。其中，甜菜碱促进动物生长的原理在于参与动物体内甲基代谢，在高半胱氨酸甲基化重新生成蛋氨酸的循环中起着重要作用。尽管很多研究[19-20]表明甜菜碱对动物体生长具有促进作用，但崔慧慧等[21]研究结果显示添加甜菜碱组并没有显著增加肉羊的生长性能。本次试验也出现了相似的结果，推测有两方面原因：一是由于甜菜碱在瘤胃中被部分降解为三甲胺；二是由于本次试验蛋白质水平较高，导致甜菜碱并没有发挥出替代蛋氨酸的作用。

关于*L*-肉碱促进动物生长的报道，国内外研究结果不一致。Rincker 等[22]使用添加不同水平的*L*-肉碱饲粮饲喂仔猪，结果表明，饲粮添加 50～100 mg/kg 的*L*-肉碱使仔猪平均日增重、料重比都增加，认为*L*-肉碱具有改善断奶仔猪生长性能的作用。然而，Owen 等[23]在生长育肥猪的研究表明，饲粮添加*L*-肉碱的试验组平均日采食量在各个阶段均低于无添加的对照组；而且在 35 d 至出栏的各育肥阶段，试验组的平均日增重也都低于对照组。丁艳艳[24]对滩羊的研究结果与 Owen 等[23]类似，在 1～60 d 的试验期内，*L*-肉碱组的平均日增

重较对照组降低了5.58%，其中在1～30 d阶段，*L*-肉碱组较对照组降低了7.53%。本试验结果表明，*L*-CN组的平均日增重较CON组降低了5.96%，平均日采食量降低了3.29%，结果与上述结果一致。笔者认为有2种可能性：一是由于动物平均日采食量与平均日增重呈正相关[25]，所以*L*-肉碱降低了平均日采食量进而导致平均日增重的降低，至于*L*-CN组采食量降低的原因可能是*L*-肉碱对肉羊饲粮的适口性存在影响；二是在本试验饲粮组成和营养水平下，*L*-肉碱促进脂肪酸β-氧化作用明显，降低了脂肪沉积[10]，所以使平均日增重也降低。

3.2　甜菜碱和*L*-肉碱对蒙寒杂交羊屠宰性能的影响

屠宰性能可以直观地反映出动物生长性能，也是衡量经济效益的重要指标。本试验中各组的宰前活重、胴体重未出现显著差异，而且屠宰率也基本一致，表明肉羊产肉性能在一定阶段相对恒定。试验使用本团队30～40 kg营养需要量，得到各组的屠宰率分别为：CON组43.50%、BN组42.44%、*L*-CN组43.5%，与万凡等[26]在同阶段杜寒杂交羊上的研究得到的屠宰率差别不大，说明在相同营养水平下30～40 kg阶段蒙寒杂交羊与杜寒杂交羊获得的屠宰率相当。眼肌面积和GR值是衡量羔羊胴体品质的重要指标和胴体脂肪含量的标志[27]，眼积面积越大瘦肉率越高，而GR值则相反。从本试验结果来看，各组GR值大小顺序为CON组>*L*-CN组>BN组，虽然各组之间没有显著性的差异，但是*L*-CN组和BN组GR值均较对照组减少，而*L*-CN组和BN组的眼积面积均高于CON组。黄其春等[28]试验结果显示，饲粮中添加甜菜碱（1 250 mg/kg）使生长猪胴体瘦肉率提高了5.2%、眼肌面积增大了17.6%。结果提示饲粮添加甜菜碱和*L*-肉碱对肉羊提高瘦肉率、降低脂肪含量有一定效果。其中，BN组GR值最低而且眼积面积最大，推测BN组的瘦肉率为各组最高。

3.3　甜菜碱和*L*-肉碱对蒙寒杂交羊内脏器官和胃肠道发育的影响

内脏器官重量在一定程度上可以反映动物机体的状况。本试验结果表明，*L*-CN组和BN组的肝脏、肺脏、脾脏重量及其所占宰前活重比例与CON组相比都没有显著性差异，说明营养水平一致的情况下，饲粮添加甜菜碱和*L*-肉碱对内脏器官发育无影响，间接表明营养水平是影响器官发育的重要因素。

反刍动物胃肠道的发育程度直接关系到动物的采食能力和消化能力，其中以瘤胃的发育最为重要，关系着动物成年以后的生长性能[29]。本试验结果表明，*L*-CN组和BN组的各个胃室与CON组相比，重量和其占宰前活重比例均没有显著性差异，表明蒙寒杂交羊胃和小肠的发育与整个机体相协调。本次研究值得注意的是*L*-CN组的大肠重量及其占宰前活重比例与CON组相比显著降低；纪守坤等[30]研究表明，干物质采食量与粪便干物质排出量呈正

相关，结合本试验的结果，推测 *L*-CN 组是由于采食量降低导致食物排出减少进而使大肠功能弱化。

3.4　甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊脂肪沉积的影响

我国大部分绵羊属于肥尾羊，形成这种尾型的主要原因是在自然进化时，这类羊在食物少的情况下利用尾部储存更多脂肪进而保证机体的能量需要[31]，所以更能适应其生长的环境。本试验选用的羊也属于此类品种，特点是尾部充满大量脂肪[32]。本次研究将瘤胃脂肪、肠脂肪、心周脂肪、肾周脂肪、尾部脂肪以及这几个部位总脂肪的重量作为评价脂肪沉积量大小的指标。从解剖部位来看，本次试验蒙寒杂交羊尾部脂肪在体脂肪所占比例最大，占试验总脂肪（皮下脂肪除外）的 41%～57%，说明尾部脂肪是蒙古羊储存脂肪的主要部位。买买提明•巴拉提等[33]研究表明，同为肥尾羊的新疆麦盖提羊，其体内脂肪分布也集中在尾巴，尾脂重占脂肪总重（包括尾脂重、网油重及肾周脂重）普遍高于 50%。本次试验还表明，饲粮添加甜菜碱和 *L*-肉碱对肉羊内脏脂肪包括瘤胃脂肪、肠脂肪、心脏脂肪和肾周脂肪重量没有显著影响，可能由于这些器官的脂肪主要起到缓冲和保护内脏的作用，故一定范围内其重量比较稳定，而尾部脂肪作为储能的地方，其沉积量的大小不会对动物生存构成太大的影响，所以当甜菜碱和 *L*-肉碱有作用时，对尾部脂肪的影响最大。

选择肥尾型蒙寒杂交羊作为试验羊是为更好体现甜菜碱和 *L*-肉碱减脂增重的效果。从本试验结果来看，甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊的脂肪沉积均有显著影响。甜菜碱最初在饲料工业应用是为了替代禽类与水产饲料中的蛋氨酸和胆碱[34]，在养猪业中，发现其还具有降低胴体脂肪沉积的作用[35]，但是它在肉羊生产尚无改善体脂沉积的研究。本试验结果证明了甜菜碱在肉羊的降脂作用，BN 组总脂肪重量比 CON 组减少了 989.6 g，降低了 38.7%；BN 组总脂肪重量占宰前活重比例比 CON 组也减少了 2.59%，降低了 37.2%，与甜菜碱在其他动物上的研究结果[36-37]一致。王敏奇等[38]选择 48 头“杜×长×大”仔猪，添加 1 000 mg/kg 的甜菜碱，以无添加组为对照，进行为期 62 d 的饲养试验，结果表明，添加组较对照组的背膘厚和板油重分别下降了 14.81%和 25.53%。甜菜碱对于脂代谢的影响可能有以下途径：一是提高甜菜碱合成酶活性，促进高半胱氨酸转化成蛋氨酸，为机体合成肉碱提供充足甲基，增加肉碱在机体肝脏或肌肉中合成量，肉碱可促进脂肪酸β-氧化，进而使脂肪的分解代谢增强；二是甜菜碱可以增加激素敏感脂酶（HSL）活性，且降低脂肪酸合成酶（FAS）、苹果酸脱氢酶（MDH）、脂蛋白脂酶（LPL）活性，从而加速脂肪分解和抑制部分脂肪合成达到降低胴体脂肪含量的效果；三是甜菜碱从激素水平影响脂质代谢，可以增加瘦素和胰岛素

的含量，从而增加了脂肪的分解代谢[4,6,39-40]。

本试验中，*L*-CN 组也出现脂肪沉积量的降低：*L*-CN 组比 CON 组的总脂肪重量下降了 578.4 g，且总脂肪重量占宰前活重比例下降了 1.4%，证明其对脂肪沉积也有降低的作用。丁艳艳[24]在滩羊上的研究也得出相似结果，饲粮添加 200 mg/kg 的 *L*-肉碱使尾脂重量极显著降低了 31.4%，并判断 *L*-肉碱可降低滩羊的体脂沉积。*L*-肉碱对脂肪沉积的影响在于 *L*-肉碱是脂肪酸转运到细胞线粒体的唯一载体，也就是说 *L*-肉碱是制约脂肪酸氧化的关键因子，添加 *L*-肉碱促进了脂肪酸β-氧化，使脂肪沉积减少。Wall 等[41]研究认为，饲粮添加 *L*-肉碱可使游离肉碱与乙酰辅酶 A 结合形成乙酰肉碱，减少了乙酰辅酶 A 的堆积，从而解除对转移酶的抑制，使脂肪酸顺利氧化；而且 *L*-肉碱的浓度决定了β-氧化的速度，*L*-肉碱浓度越高脂肪氧化速度越快，进而促进脂肪利用[42]。

甜菜碱和 *L*-肉碱对脂肪代谢中有共同一条途径是都通过 *L*-肉碱对脂肪酸氧化影响脂肪沉积量，而此次试验数据表明甜菜碱降脂作用更加明显，推测甜菜碱还通过上述另外 2 条途径的协同作用影响脂肪代谢。

4　结　论

① 饲粮添加甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊的生长性能影响不显著。

② 饲粮添加甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊的脂肪沉积产生影响，均不同程度地减少了蒙寒杂交羊的体脂肪含量，以甜菜碱效果为佳。

③ 饲粮添加甜菜碱和 *L*-肉碱对蒙寒杂交羊尾部脂肪的沉积影响最为明显。

参考文献：

[1]　王秀武,张丽,杜昱光,等.海洋寡聚糖对仔猪生产性能及血液理化指标的影响[J].天然产物研究与开发,2005,17(6):794–796.

[2]　柘丽.乳化剂与 *L*-肉碱对肉鸡生产性能及饲粮养分利用的影响[D].硕士学位论文.成都：四川农业大学,2012.

[3]　苟庚午,蒋明,文华,等.饲料中添加 L-肉碱对吉富罗非鱼生长、肝脏脂肪代谢及抗氧化能力的影响[J].淡水渔业,2016,46(5):81–88.

[4]　张婧,孙进华,宋文涛,等.甜菜碱生物学功能及其在改善猪肉质中的应用[J].东北农业大学学报,2016,47(1):93–101.

[5]　MAHMOUDNIA N,MADANI Y.Effect of betaine on performance and carcass composition of broiler chicken in warm weather—a review[J].International Journal of Agriculture

Science,2012,2(8):766–773.
[6] 冷智贤,洑琴,杨雪,等.甜菜碱对肉鸡屠宰性能及胸肌肉品质的影响[J].食品科学,2015,36(9):166-169.
[7] VIRTANEN E,RUMSEY G.Betaine supplementation can optimize use of methionine,choline in diets[J].Feedstuffs,1992,68(42):12–13.
[8] BANSKALIEVA V,PUCHALA R,GOETSCH A L,et al.Effects of ruminally protected betaine an choline on net flux of nutrients across the portal-drained viscera and liver of meat goat wethers consuming diets differing in protein concentration[J].Small Ruminant Research,2005,57(2/3):193–202.
[9] 边连全,张冬梅,安磊旭,等.肉碱与甜菜碱对育肥猪胴体、肉品质及肝脏营养成分的影响[J].中国饲料,2009(4):28–30,36.
[10] 王朕朕,罗海玲,贾慧娜.*L*-肉碱的生物学特性及其在畜牧生产中的研究进展[J].中国畜牧兽医,2012,39(7):129–134.
[11] HONG J,BRADLEY T M,TREMBLAY G C.Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed *L*-carnitine exhibit altered intermediary metabolism and reduced tissue lipid[J].The Journal of Nutrition,1996,126(8):1937–1950.
[12] 阎晓东,姜德兴,李听荣.*L*-肉碱在动物营养中的应用进展[J].上海畜牧兽医通讯,2008(5):5–7.
[13] 李成良,张海燕,周安国.*L*-肉碱在动物营养中的质和量[J].养殖与饲料,2006(12):27–31.
[14] 马立保,何瑞国.肉碱在动物营养中的应用[J].粮食与饲料工业,1999(7):32–33.
[15] XU G S,MA T,JI S K,et al.Energy requirements for maintenance and growth of early-weaned Dorper crossbred male lambs[J].Livestock Science,2015,177:71–78.
[16] 万凡,马涛,马晨,等.不同饲养标准对杜寒杂交肉羊营养物质消化利用的影响[J].动物营养学报,2016,28(12):3819–3827.
[17] EKLUND M,BAUER E,WAMATU J,et al.Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock[J].Nutrition Research Reviews,2005,18(1):31–48.
[18] 张冬梅,边连全,安磊旭,等.肉碱与甜菜碱对育肥猪生长性能及脂肪代谢的影响[J].河南农业科学,2009(4):111–114.
[19] HUANG Q C,XU Z R,HAN X Y,et al.Effect of dietary betaine supplementation on lipogenic enzyme activities and fatty acid synthase mRNA expression in finishing pigs[J].Animal Feed Science and Technology,2008,140(3/4):365–375.
[20] 贾亚伟,董国忠,王芳,等.甜菜碱和酵母铬对高温环境中肉牛生产性能的影响[J].中国饲料,2011(14):26–28.
[21] 崔慧慧,王洪荣,李华伟,等.过瘤胃甜菜碱对肉羊生长性能和消化代谢的调控[J].动物营

养学报,2016,28(1):151–156.

[22] RINCKER M J,CARTER S D,REAL D E,et al.Effects of increasing dietary *L*-carnitine on growth performance of weanling pigs[J].Journal of Animal Science,2003,81(9):2259–2269.

[23] OWEN K Q,WEEDEN T L,NELSSEN J L,et al.The effect of *L*-carnitine additions on performance and carcass characteristics of growing-finishing swine[J].Journal of Animal Science,1993,75:122–126.

[24] 丁艳艳.添加左旋肉碱对滩羊生产性能、胴体品质、肉品质及脂质代谢的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2012.

[25] MA T,DENG K D,JIANG C G,et al.The relationship between microbial N synthesis and urinary excretion of purine derivatives in Dorper×thin-tailed *Han* crossbred sheep[J].Small Ruminant Research,2013,112(1/2/3):49–55.

[26] 万凡,马涛,马晨,等.不同饲养标准对杜寒杂交肉用绵羊生产和屠宰性能的影响[J].动物营养学报,2016,28(11):3483–3492.

[27] 张崇志,高爱武,杨金丽,等.前期营养水平对羔羊两阶段育肥效果的影响[J].中国畜牧兽医,2011,38(11):8–13.

[28] 黄其春,许梓荣.甜菜碱对生长肥育猪胴体组成的影响及其机理研究进展[J].中国畜牧杂志,2006,42(15):47–49.

[29] 岳喜新,刁其玉,邓凯东,等.饲喂代乳粉对羔羊生长性能和体组织参数的影响[J].饲料工业,2010,31(19):43–46.

[30] 纪守坤,许贵善,刁其玉,等.不同饲喂水平对肉用羔羊矿物质消化代谢的影响[J].饲料工业,2012,33(11):43–47.

[31] 樊红樱.呼伦贝尔绵羊尾部脂肪组织的转录组差异表达分析[D].博士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2016.

[32] 甘尚权,张伟,宋天增,等.X 染色体一处新发现的 SNP 位点在脂尾(臀)、瘦尾绵羊群体中的多态检测及分析[J].西南农业学报,2013,26(5):2066–2070.

[33] 买买提明•巴拉提,早热古丽•买买提,多里坤•努尔,等.麦盖提羊脂肪的贮积和分布特点[J].河南农业科学,2001(6):46–48.

[34] KIDD M T,FERKET P R,GARLICH J D.Nutritional and osmoregulatoryfunctions of betaine[J].Worlds Poultry Science,1997,53(2):125–139.

[35] FERNÁNDEZ-FÍGARES I,WRAY-CAHEN D,STEELE N C,et al.Effect of dietary betaine on nutrient utilization and partitioning in the young growing feed-restricted pig[J].Journal of Animal Science,2002,80(2):421–428.

[36] NAKEV J,POPOVA T,VASILEVA V.Influence of dietary betaine supplementation on the growth performance and carcass characteristics in male and female growing-finishing pigs[J].Bulgarian Journal of Agricultural Science,2009,15(3):263–268.

[37] FENG J,LIU X,WANG Y Z,et al.Effects of betaine on performance,carcass characteristics and hepatic betaine-homocysteine methyltransferase activity in finishing barrows[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2006,19(3):402–405.

[38] 王敏奇,许梓荣,汪以真.甜菜碱对生长猪脂肪代谢的影响[J].浙江农业学报,2001,13(6):339–342.

[39] 谭桂宁,陈江生.甜菜碱的生物学功能及在养猪生产中的应用[J].中国畜牧杂志,2015,51(23):78–81.

[40] CAI D M,WANG J J,JIA Y M,et al.Gestational dietary betaine supplementation suppresses hepatic expression of lipogenic genes in neonatal piglets through epigenetic and glucocorticoid receptor-dependent mechanisms[J].Biochimica et Biophysica Acta：Molecular and Cell Biology of Lipids,2016,1861(1):41–50.

[41] WALL B T,STEPHENS F B,CONSTANTIN-TEODOSIU D,et al.Increasing muscle carnitine content alters muscle fuel metabolism and improves exercise performance in humans[J].Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine,2011,60(1):85–85.

[42] VAN KEMPEN T A T G,ODLE J.Medium-chain fatty acid oxidation in colostrum-deprived newborn piglets:stimulative effect of *L*-carnitine supplementation[J].The Journal of Nutrition,1993,123(9):1531–1537.

Effects of Betaine and *L*-Carnitine on Growth Performance, Slaughter Performance, Organ Development and Fat Deposition of Mongolia Hybrid Sheep

YANG Dong[1,2,3] WANG Wenyi[3] MA Tao[1] WAN Fan[1] WANG Yunfei[3] TAN Jun[2]

*Corresponding author, professor, E-mail: diaoqiyu@caas.cn

（责任编辑　武海龙）

ZHANG Juan[3]　DIAO Qiyu[1*]

(1. *Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture, Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100081, *China*; 2. *Inner Mongolia He Tao Institute of Agriculture and Animal Husbandry Technology, Bayan Nur* 015000, *China*; 3. *Bayannur Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Bayannur* 015000, *China*)

Abstract: The aim of this study was to evaluate the effects of betaine and *L*-carnitine on growth performance, slaughter performance, organ development and fat deposition of Mongolia hybrid sheep. The single factor design was used in the experiment, a total of 270 Mongolia hybrid sheep with body weight of (29.0±0.4) kg were randomly assigned into 3 groups with 3 replicates in each group and 30 sheep in each replicate. Sheep in the control group (CON group) were fed a basal diet, and others in the betaine group (BN group) and the *L*-carnitine group (*L*-CN group) were fed the basal diets supplemented with 1‰ betaine and 0.4‰ *L*-carnitine, respectively. The pre-experimental period lasted for 15 days, and the experimental period lasted for 40 days. The results showed as follows: 1) the average daily feed intake of *L*-CN group was significantly lower than that of CON group and BN group ($P<0.05$), and the rest growth performance indicators were no significant differences among all groups ($P>0.05$). 2) There were no significant differences in live weight before slaughter, carcass weight, dressing percentage, area of eye area and carcass fat content value among all groups ($P>0.05$). 3) There were no significant differences in internal organ development indices among all groups ($P>0.05$). 4) The large intestine weight and its percentage of live weight before slaughter of *L*-CN group were significantly lower than those of CON group ($P<0.05$), and the rest gastrointestinal development indices were no significant differences among all groups ($P>0.05$). 5) The total fat weight and its percentage of live weight before slaughter of BN group and *L*-CN group were significantly lower than those of CON group ($P<0.05$), the total fat weight and its percentage of live weight before slaughter of *L*-CN group were significantly higher than those of BN group ($P<0.05$); the tail fat weight and its percentage of live weight before slaughter of CON group were significantly higher than those of BN group ($P<0.05$); there were no significant differences in rumen fat, intestines fat, pericardial fat and perirenal fat weight and their percentage of live weight before slaughter among all groups ($P>0.05$). The results showed that dietary betaine and *L*-carnitine can reduce the fat deposition of

Mongolia hybrid sheep, and mainly reduce the weight of tail fat, which proved that betaine and *L*-carnitine play an important role in reducing body fat in Mongolia hybrid sheep.

Key words: Mongolia hybrid sheep; betaine; *L*-carnitine; growth performance; slaughter performance; fat deposition